



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Patentschrift  
10 DE 100 32 414 C 1

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
H 01 L 29/775  
H 01 L 29/15  
B 82 B 1/00

21 Aktenzeichen: 100 32 414.2-33  
22 Anmeldetag: 4. 7. 2000  
43 Offenlegungstag: -  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 22. 11. 2001

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:  
Infineon Technologies AG, 81669 München, DE

74 Vertreter:  
Viering, Jentschura & Partner, 80538 München

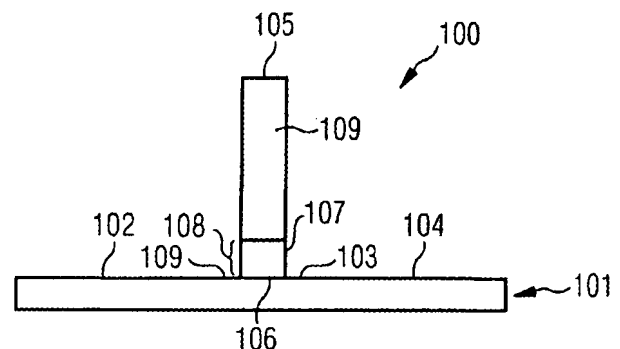
72 Erfinder:  
Luyken, Richard Johannes, Dr., 81825 München, DE;  
Schloesser, Till, Dr., 81825 München, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
TIETZE, U., SCHENK, Ch.: Halbleiterschaltungs-  
technik, 11. Aufl., Springer Verlag, ISBN 3-540-  
64192-0, S. 187-218, 1999;  
REN, Z.F. et al: Synthesis of Large Arrays of  
Well-Aligned Carbon Nanotubes on Glass, SIENCE,  
Vol. 282, S. 1105-1107, November 1998;  
SUH, Young Sang und LEE, Yin Seong: Highly-  
Ordered Two-Dimensional Carbon-Nanotubes  
Areas,  
Applied Physics Letters, Vol. 75, Nr. 14,  
S. 2047-2049, Oktober 1991;

DEKKER, T.: Carbon-Nanotubes as Molecular  
Quantum  
Wires, Physics Today, S. 22-28, Mai 1999;  
HAN, W. et al: Synthesis of Boron Nitride Nano-  
tubes From Carbon Nanotubes by a substitution  
Reaction, Applied Physics Letters, Vol. 73,  
Number 21, S. 3085-3087, November 1998;  
MARTEL, R. et al: Single- and Multi-Wall Carbon  
Nanotube Field-Effect Transistors, Applied  
Physics Letters, Vol. 73, Number 17, S. 2447-2449,  
October 1998;  
MORALES, A.M. und LIEBER, C.M.: A Laser  
Ablation  
Method for the Synthesis of Crystalline Semicon-  
ductor Nanowires, SCIENCE, Vol. 279, S. 208-211,  
in Reports, January 1998;  
VEDENEV, A.K. et al: Molecular-Scale Rectifying  
Diodes Based on Y-Junction Carbon Nanotubes,  
Proceedings of the IEDM Conference, Washington,  
1999;

64 Feldeffekttransistor

57 Der Feldeffekttransistor weist einen Nanodraht auf, der  
Source, Kanal und Drain des Feldeffekttransistors bildet.  
Auf dem Nanodraht ist eine Nanoröhre aufgebracht, die  
einen elektrisch isolierenden Bereich und einen halblei-  
tenden Bereich oder einen metallisch leitenden Bereich  
aufweist. Der isolierende Bereich bildet den Isolator und  
der leitende Bereich das Gate des Feldeffekttransistors.



DE 100 32 414 C 1

DE 100 32 414 C 1

[0001] Die Erfindung betrifft einen Feldeffekttransistor.  
[0002] Aus [1] sind eine Vielzahl unterschiedlicher Feldeffekttransistoren bekannt.

[0003] Ein Beispiel eines solchen Feldeffekttransistors ist der sogenannte MOS-Feldeffekttransistor.

[0004] Ein MOS-Feldeffekttransistor weist gemäß heutiger Technologie noch eine Chipfläche von mindestens ungefähr  $0,16 \mu\text{m}^2$  auf.

[0005] Weiterhin sind Grundlagen über sogenannte Carbon-Nanoröhren, die im weiteren als Kohlenstoff-Nanoröhren bezeichnet werden, aus [4] bekannt.

[0006] Ein Verfahren zum Herstellen von Kohlenstoff-Nanoröhren mittels Aufwachsen derselben auf einem Substrat, ist aus [2] und [3] bekannt.

[0007] Weitere Verfahren, mit denen Kohlenstoff-Nanoröhren hergestellt werden können wie Laserablation oder Lichtbogenentladung sind in [4] beschrieben.

[0008] Weiterhin ist aus [5] ein Verfahren bekannt, bei dem eine elektrisch halbleitende Kohlenstoff-Nanoröhre oder eine metallisch leitende Kohlenstoff-Nanoröhre mittels Dotierung von Bor-Atomen und Stickstoff-Atomen umgewandelt wird in eine Bor-Nitrid-Nanoröhre, die elektrisch isolierend wirken.

[0009] Weiterhin ist aus [6] ein Feldeffekttransistor mit einer Kohlenstoff-Nanoröhre bekannt, die zwei Goldelektroden miteinander über ein Siliziumdioxid-Substrat elektrisch steuerbar kuppelt. In diesem Fall bilden die Goldelektroden den Source-Bereich bzw. den Drain-Bereich des Feldeffekttransistors und der gesteuerte Kanalbereich des Feldeffekttransistors wird von der Kohlenstoff-Nanoröhre gebildet. Über eine sich unterhalb der Siliziumdioxid-Schicht befindenden Silizium-Schicht, die als Gate-Bereich des Feldeffekttransistors verwendet wird, wird die den Kanalbereich bildende Kohlenstoff-Nanoröhre in ihren elektrischen Eigenschaften, insbesondere in ihrer elektrischen Leitfähigkeit gesteuert.

[0010] Aus [7] ist ferner ein Verfahren zum Herstellen eines Silizium-Nanodrahts bekannt.

[0011] Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, einen Feldeffekttransistor mit gegenüber den bekannten Feldeffekttransistoren verringertem Platzbedarf anzugeben.

[0012] Das Problem wird durch die Feldeffekttransistoren mit den Merkmalen gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst.

[0013] Ein Feldeffekttransistor weist einen Nanodraht auf, der einen Source-Bereich, einen Kanalbereich und einen Drain-Bereich des Feldeffekttransistors bildet. Auf dem Nanodraht ist eine Nanoröhre aufgebracht, die einen isolierenden Bereich und einen halbleitenden Bereich oder einen metallisch leitenden Bereich aufweist. Der isolierende Bereich der Nanoröhre ist auf dem Kanalbereich des Nanodrahts derart aufgebracht, dass der isolierende Bereich der Nanoröhre einen Isolator des Feldeffekttransistors bildet. Ferner ist die Nanoröhre derart auf den Nanodraht aufgebracht, dass der halbleitende Bereich der Nanoröhre oder der metallisch leitende Bereich der Nanoröhre einen Gate-Bereich des Feldeffekttransistors bildet.

[0014] Der Nanodraht kann ein Silizium-Nanodraht sein.

[0015] Gemäß einer alternativen Ausgestaltung der Erfindung kann der Nanodraht eine weitere Nanoröhre sein, beispielsweise eine Kohlenstoff-Nanoröhre.

[0016] Ein Vorteil dieser Ausgestaltung ist insbesondere in der Kompaktheit der Lösung zu sehen, d. h. darin, dass beide Elemente des Feldeffekttransistors, sowohl das steuernde Element (Gate) als auch das gesteuerte Element (Kanal) durch jeweils eine Kohlenstoff-Nanoröhre gebildet

wird mit den damit verbunden vorteilhaften Materialeigenschaften.

[0017] Die weitere Kohlenstoff-Nanoröhre kann mindestens einen halbleitenden Bereich sowie mindestens einen metallisch leitenden Bereich aufweisen, wobei der halbleitende Bereich zwischen zwei metallisch leitenden Bereichen angeordnet sein kann.

[0018] In diesem Fall bildet vorzugsweise der halbleitende Bereich der weiteren Kohlenstoff-Nanoröhre den Kanalbereich des Feldeffekttransistors und die zwei metallisch leitenden Bereiche den Source-Bereich bzw. den Drain-Bereich des Feldeffekttransistors.

[0019] Die Nanoröhre kann aus mehreren einzelnen Nanoröhren zusammengesetzt sein, beispielsweise aus einer elektrisch isolierenden Nanoröhre, gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung einer Bor-Nitrid-Nanoröhre und einer oder mehreren halbleitenden oder metallisch leitenden Kohlenstoff-Nanoröhren.

[0020] Der isolierende Bereich der Nanoröhre kann durch eine Bor-Nitrid-Nanoröhre gebildet werden.

[0021] Allgemein ist in diesem Zusammenhang anzumerken, dass Kohlenstoff-Nanoröhren eine von den Röhrenparametern abhängige elektrische Leitfähigkeit aufweisen.

[0022] So gibt es abhängig von den Röhrenparametern elektrisch halbleitende Kohlenstoff-Nanoröhren und metallisch leitende Kohlenstoff-Nanoröhren.

[0023] Strukturell gleich aufgebaute Bor-Nitrid-Nanoröhren sind dagegen elektrisch isolierend, da diese eine energetische Bandlücke von 4 eV aufweisen.

[0024] Der halbleitende Bereich oder der metallisch leitende Bereich der Nanoröhre kann eine Kohlenstoff-Nanoröhre, d. h. eine halbleitende Kohlenstoff-Nanoröhre oder eine metallisch leitende Kohlenstoff-Nanoröhre sein.

[0025] Es ist somit möglich, beide üblicherweise entstehenden Arten von Kohlenstoff-Nanoröhren einzusetzen, womit die relativ aufwendige Überprüfung der elektrischen Eigenschaften der jeweils hergestellten Kohlenstoff-Nanoröhren sogar entfallen könnte, wenn dies gewünscht ist und beispielsweise die Transistorparameter nicht unbedingt bekannt sein müssen.

[0026] Es können im Rahmen der Erfindung sowohl einwandige als auch mehrwandige (Kohlenstoff-)Nanoröhren eingesetzt werden.

[0027] Ein weiterer Feldeffekttransistor weist einen Nanodraht auf, der einen Source-Bereich, einen Kanalbereich und einen Drain-Bereich des Feldeffekttransistors bildet. Auf dem Nanodraht ist mindestens eine elektrisch isolierende Nanoröhre, die einen Isolator des Feldeffekttransistors bildet, aufgebracht. Weiterhin weist der Feldeffekttransistor mindestens eine auf der isolierenden Nanoröhre aufgetragenen elektrisch halbleitende oder metallisch leitende Nanoröhre auf, die einen Gate-Bereich des Feldeffekttransistors bildet.

[0028] Anschaulich ist die elektrisch isolierende Nanoröhre bzw. der isolierende Bereich einer Nanoröhre derart auf den Nanodraht aufgebracht, dass es mittels der den Gate-Bereich bildenden halbleitenden oder metallisch leitenden Nanoröhre möglich ist mittels eines sich ausbildenden Feldeffekts in dem Kanalbereich des Feldeffekttransistors, d. h. in dem Nanodraht, die Dichte der elektrischen Ladungsträger zu steuern und somit den Feldeffekttransistor zwischen zwei Transistorzuständen, einem leitenden Transistorzustand und einem nicht leitenden Transistorzustand umzuschalten.

[0029] Die Steuerung der Kanalleitfähigkeit des erfindungsgemäßen Feldeffekttransistors erfolgt somit wie bei üblichen Feldeffekttransistoren mittels eines elektrischen Feldes durch eine an eine Gate-Elektrode angelegte elektri-

sche Spannung, d. h. durch eine an den Gate-Bereich des Feldeffekttransistors angelegte elektrische Spannung.

[0030] Ein erheblicher Vorteil der Erfindung darin zu sehen, dass der angegebene Feldeffekttransistor sehr klein ist, d. h. seine Größe kann in einer Dimensionierung von bis zu 100 nm<sup>2</sup> und kleiner hergestellt werden.

[0031] Weiterhin ist aufgrund der Tatsache, dass ein einmolekularer, d. h. einstückiger Feldeffekttransistor aus Nanoröhren, allgemein aus einem Nanodraht und einer Nanoröhre gebildet wird, das elektronische Bauelement sehr einfach in Leiterbahnen einer elektrischen Schaltung integrierbar ist.

[0032] Ferner ist ein weiterer Vorteil der Erfindung in der Kompatibilität der Feldeffekttransistoren zu üblicherweise in Halbleiter-Schaltungen verwendetem Silizium-Material zu sehen.

[0033] Allgemein kann die Erfindung darin gesehen werden, dass auf einem Nanodraht, beispielsweise einer Kohlenstoff-Nanoröhre eine weitere Nanoröhre aufgebracht ist, derart, dass das dadurch gebildete einstückige, d. h. einmolekulare Element als Feldeffekttransistor ein separates elektronisches, einmolekulares Bauelement darstellt.

[0034] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Figuren dargestellt und werden im weiteren näher erläutert.

[0035] Es zeigen

[0036] Fig. 1A und 1B einen Querschnitt eines Feldeffekttransistors gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung, wobei in Fig. 1A dessen Materialverlauf und in Fig. 1B dessen Wandverlauf dargestellt ist;

[0037] Fig. 2A und 2B einen Querschnitt eines Feldeffekttransistors gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung, wobei in Fig. 2A dessen Materialverlauf und in Fig. 2B dessen Wandverlauf dargestellt ist;

[0038] Fig. 3A und 3B einen Querschnitt eines Feldeffekttransistors gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung, wobei in Fig. 3A dessen Materialverlauf und in Fig. 3B dessen Wandverlauf dargestellt ist;

[0039] Fig. 4A und 4B einen Querschnitt eines Feldeffekttransistors gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel der Erfindung, wobei in Fig. 4A dessen Materialverlauf und in Fig. 4B dessen Wandverlauf dargestellt ist.

[0040] Den im weiteren dargestellten Ausführungsbeispielen ist gemein, dass durch Anlegen einer elektrischen Spannung an den Gate-Bereich des jeweiligen Feldeffekttransistors der Stromfluss elektrischer Ladungsträger in dem Kanalbereich des gesteuerten Nanodrahts mittels des erzeugten elektrischen Feldes an dem Gate-Bereich mittels des auftretenden Feldeffekts gesteuert wird.

#### Erstes Ausführungsbeispiel

[0041] Fig. 1A zeigt einen Querschnitt eines Feldeffekttransistors 100 gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0042] Der Feldeffekttransistor 100 weist eine halbleitende erste Kohlenstoff-Nanoröhre 101 auf, die eine Source-Kanal-Drain-Struktur des Feldeffekttransistors 100 bildet, d. h. die halbleitende erste Kohlenstoff-Nanoröhre bildet einen Source-Bereich 102, einen Kanalbereich 103 sowie einen Drain-Bereich 104 des Feldeffekttransistors 100.

[0043] Die halbleitende erste Kohlenstoff-Nanoröhre 101 wird mittels des in [2] oder [3] beschriebenen Abscheideverfahrens hergestellt.

[0044] Auf der halbleitenden ersten Kohlenstoff-Nanoröhre 101 ist eine zweite Kohlenstoff-Nanoröhre 105 aufgebracht.

[0045] Gemäß diesem Ausführungsbeispiel wird die zweite Kohlenstoff-Nanoröhre 105 mittels des in [2] oder

[3] beschriebenen Abscheideverfahrens aus der Gasphase auf der ersten Kohlenstoff-Nanoröhre 101 abgeschieden.

[0046] Alternativ können bereits hergestellte Nanoröhren mit drei Endbereichen, d. h. Anschlüssen, verwendet werden, wie sie beispielsweise in [8] beschrieben sind als T-förmige oder Y-förmige Nanoröhren.

[0047] Die nach dem Aufwachsen bzw. Abscheiden elektrisch metallisch leitende zweite Kohlenstoff-Nanoröhre 105 wird in einem vorgegebenen Bereich 108, der sich erstreckt von einem Kontaktbereich 106 zwischen der ersten Kohlenstoff-Nanoröhre 101 und der zweiten Kohlenstoff-Nanoröhre 105 entlang der zweiten Kohlenstoff-Nanoröhre 105 mit einer vorgegebenen Länge, umgewandelt in eine Bor-Nitrid-Nanoröhre 107.

[0048] Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass die zweite Kohlenstoff-Nanoröhre in einem vorgegebenen Bereich gemäß dem in [6] beschriebenen Verfahren mit Boratomen und Stickstoffatomen dotiert wird, so dass der vorgegebene Bereich 108 eine elektrisch isolierende Struktur bekommt.

[0049] Der restliche Bereich der zweiten Kohlenstoff-Nanoröhre 105 bleibt weiterhin eine elektrisch metallisch leitende oder halbleitende Kohlenstoff-Nanoröhre, die gemäß diesem Ausführungsbeispiel mit dem Bezugszeichen 109 bezeichnet wird.

[0050] Der mit den Bor-Atomen und den Stickstoff-Atomen dotierte, elektrisch isolierende Bereich 108 des Feldeffekttransistors 100 wirkt im Rahmen des gebildeten Feldeffekttransistors 100 als Isolator zwischen dem Kanalbereich 103, auf dem die zweite Kohlenstoff-Nanoröhre 105 aufgebracht ist, und dem als Gate-Bereich fungierenden weiterhin metallisch leitenden Bereich 109 der zweiten Kohlenstoff-Nanoröhre 105.

[0051] Auf diese Weise kann durch elektrisches Ansteuern des Feldeffekttransistors 100, insbesondere durch Anlegen einer elektrischen Spannung an den Gate-Bereich 109 der zweiten Kohlenstoff-Nanoröhre 105, die Ladungsdichte der elektrischen Ladungsträger in dem Kanalbereich 103 und damit die elektrische Leitfähigkeit des Kanalbereichs 103 des Feldeffekttransistors 100 gesteuert werden.

[0052] Somit ist ein Feldeffekttransistor gebildet, bei dem eine erste Kohlenstoff-Nanoröhre 101 in ihrem elektrischen Verhalten über eine zweite Kohlenstoff-Nanoröhre durch Anlegen einer elektrischen Spannung an die zweite Kohlenstoff-Nanoröhre 105 gesteuert werden kann.

[0053] Fig. 1B zeigt den zugehörigen Verlauf der Wände der ersten Kohlenstoff-Nanoröhre 101 bzw. der zweiten Kohlenstoff-Nanoröhre 105 des Feldeffekttransistors 100.

[0054] Wie Fig. 1B zu entnehmen ist, ist die zweite Kohlenstoff-Nanoröhre 105 derart auf der ersten Kohlenstoff-Nanoröhre 101 aufgebracht, dass in dem Kontaktbereich 106 die Wände 110, 111 der ersten Kohlenstoff-Nanoröhre unmittelbar mit der Wand 112 der zweiten Kohlenstoff-Nanoröhre 105 gekuppelt sind.

[0055] Es ist in diesem Zusammenhang anzumerken, dass gemäß allen Ausführungsbeispielen der Erfindung sowohl einwandige als auch mehrwandige Kohlenstoff-Nanoröhren verwendet werden können.

#### Zweites Ausführungsbeispiel

[0056] In Fig. 2A ist ein Feldeffekttransistor 200 gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung dargestellt.

[0057] Der Feldeffekttransistor 200 weist eine erste Kohlenstoff-Nanoröhre 201 auf, die, in gleicher Weise wie die erste Kohlenstoff-Nanoröhre 101 des Feldeffekttransistors 100 gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel die Source-Kanal-Drain-Struktur des Feldeffekttransistors 200 bildet.

[0058] Ein erster Bereich der ersten Kohlenstoff-Nanoröhre 201 ist ein Bereich einer elektrisch metallisch leitenden Kohlenstoff-Nanoröhre 202, die den Source-Bereich des Feldeffekttransistors 200 bildet.

[0059] Ein elektrisch halbleitender Kohlenstoff-Nanoröhren-Bereich 203 bildet den Kanalbereich 203 des Feldeffekttransistors 200.

[0060] Ein sich an dem Kanalbereich 203 anschließender metallisch leitender Kohlenstoff-Nanoröhren-Bereich 204 bildet den Drain-Bereich des Feldeffekttransistors.

[0061] In gleicher Weise wie gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel ist auf der ersten Kohlenstoff-Nanoröhre 201 eine zweite Kohlenstoff-Nanoröhre 205 auf dem Kanalbereich 203 der ersten Kohlenstoff-Nanoröhre 201 aufgebracht.

[0062] Es bildet sich somit ein Kontaktbereich 206 zwischen der ersten Kohlenstoff-Nanoröhre 201 und der zweiten Kohlenstoff-Nanoröhre 205.

[0063] Die zweite Kohlenstoff-Nanoröhre 205 wird in einem Bereich vorgegebener Größe 208 mit Boratomen oder Stickstoffatomen dotiert, so dass ein isolierender Bereich 207 unmittelbar auf der ersten Kohlenstoff-Nanoröhre 201 gebildet wird.

[0064] Der restliche Bereich der zweiten Kohlenstoff-Nanoröhre 205 ist weiterhin elektrisch metallisch leitend und bildet den Gate-Bereich 209 des Feldeffekttransistors 200.

[0065] Fig. 2B zeigt den Wandverlauf des Feldeffekttransistors 200, bei dem wiederum gezeigt ist, dass die Wände 210, 211 der ersten Kohlenstoff-Nanoröhre 201 anschaulich eine Basis bildet, auf der die zweite Kohlenstoff-Nanoröhre 205 aufgebracht ist, und wobei die Wände 212 der zweiten Kohlenstoff-Nanoröhre 205 auf der ersten Kohlenstoff-Nanoröhre 201 unmittelbar aufgebracht sind, d. h. an Kontaktstellen 213, 214, der gemäß diesem Ausführungsbeispiel bei zylinderförmiger zweiter Kohlenstoff-Nanoröhre eine kreisförmige Struktur aufweist, gekuppelt ist.

#### Drittes Ausführungsbeispiel

[0066] Fig. 3A zeigt einen Feldeffekttransistor 300 gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0067] Auf einem Silizium-Nanodraht 301, der die Source-Kanal-Drain-Struktur des Feldeffekttransistors 300 bildet, und der elektrisch halbleitend ist, ist in den Kanalbereich 303, der zwischen dem Source-Bereich 302 und dem Drain-Bereich 304 des Feldeffekttransistors 300 angeordnet ist, eine erste Kohlenstoff-Nanoröhre 305 als Bor-Nitrid-Nanoröhre aufgebracht, so dass ein Kontaktbereich 309 zwischen dem Silizium-Nanodraht 301 und der ersten Kohlenstoff-Nanoröhre 305 gebildet wird.

[0068] Auf der ersten Kohlenstoff-Nanoröhre 305 ist eine zweite Kohlenstoff-Nanoröhre 306 aufgebracht, d. h. angeschlossen, wobei die zweite Kohlenstoff-Nanoröhre 306 den Gate-Bereich des Feldeffekttransistors 300 bildet und als elektrisch metallisch leitende Kohlenstoff-Nanoröhre ausgestaltet ist.

[0069] Fig. 3B zeigt den Wandverlauf des Feldeffekttransistors 300.

[0070] Wiederum ist auf dem Silizium-Nanodraht 301, d. h. auf dessen oberer Wand 307 der erste Kohlenstoff-Nanodraht 305 und der zweite Kohlenstoff-Nanodraht 306, die eine gemeinsame Einheit bilden, aufgebracht, so dass dessen Seitenwände 308 in dem Kontaktbereich 306 gekuppelt sind.

#### Viertes Ausführungsbeispiel

[0071] Fig. 4A zeigt einen Feldeffekttransistor 400 gemäß

einem vierten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0072] Wiederum ist eine erste Kohlenstoff-Nanoröhre 401, gemäß diesem Ausführungsbeispiel eine durchgängig halbleitende Kohlenstoff-Nanoröhre, alternativ auch ein halbleitender Silizium-Nanodraht oder eine wie gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel aus mehreren Kohlenstoff-Nanoröhren mit unterschiedlichen elektrischen Eigenschaften gebildete Source-Kanal-Drain-Struktur des Feldeffekttransistors 400 vorgesehen.

[0073] Die erste Kohlenstoff-Nanoröhre 401 bildet somit wiederum einen Source-Bereich 402, einen Kanalbereich 403 sowie einen Drain-Bereich 404.

[0074] Auf dem Kanalbereich 403 ist eine mehrwandige zweite Kohlenstoff-Nanoröhre 405 aufgebracht, gemäß diesem Ausführungsbeispiel eine elektrisch isolierende Bor-Nitrid-Nanoröhre.

[0075] Die mehrwandige Bor-Nitrid-Nanoröhre 405 dient als Isolator im Rahmen des Feldeffekttransistors 400.

[0076] Auf der Bor-Nitrid-Nanoröhre 405 ist eine weitere, elektrisch metallisch leitende Kohlenstoff-Nanoröhre 406 aufgebracht, die als Gate des Feldeffekttransistors 400 verwendet wird.

[0077] Fig. 4B zeigt den zu dem Feldeffekttransistor 400 korrespondierenden Wandverlauf, in der die Wände 407 der ersten Kohlenstoff-Nanoröhre 401, die Wände 408 der mehrwandigen Bor-Nitrid-Nanoröhre 405 und die Wände 409 der zweiten Kohlenstoff-Nanoröhre 406 dargestellt sind.

[0078] Die oben dargestellten Feldeffekttransistoren können ferner auch gebildet werden, indem der elektrische isolierend wirkende Bereich 108 der zweiten Kohlenstoff-Nanoröhre 105, 205, 306 lokal durch eine Bor-Nitrid-Nanoröhre ersetzt wird.

[0079] Weiterhin kann eine kontrollierte Gasphasenepitaxie unter Verwendung von Katalysatoren zum Aufwachsen der Bor-Nitrid-Nanoröhre bzw. der metallisch leitenden Kohlenstoff-Nanoröhre auf der entsprechenden Bor-Nitrid-Nanoröhre gemäß dem in [3] beschriebenen Verfahren erzeugt werden.

[0080] In einer weiteren alternativen Vorgehensweise können die einzelnen Elemente des Feldeffekttransistors unter Verwendung von Nano-Manipulatoren zusammengebaut werden.

[0081] Weiterhin ist es gemäß einer alternativen Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, auf dem ersten Nanodraht, d. h. beispielsweise der ersten Kohlenstoff-Nanoröhre in dem Kanalbereich des gebildeten Feldeffekttransistors gemäß dem in [3] beschriebenen Verfahren eine Kohlenstoff-Nanoröhre mit der Länge des gewünschten Bereichs 108 aufzuwachsen, diese gebildete Kohlenstoff-Nanoröhre mit Boratomen und Stickstoffatomen zu dotieren, so dass eine Bor-Nitrid-Nanoröhre entsteht, und auf dieser Bor-Nitrid-Nanoröhre die metallisch leitende Kohlenstoff-Nanoröhre aufzuwachsen.

[0082] In diesem Dokument sind folgende Veröffentlichungen zitiert:

[1] U. Tietze, Ch. Schenk, Halbleiterschaltungstechnik, 11. Auflage, Springer Verlag, ISBN 3-540-64192-0, S. 187-218, 1999.

[2] Z. F. Ren et al, Synthesis of Large Arrays of Well-Aligned Carbon Nanotubes on Glass, *SCIENCE*, Volume 282, S. 1105-1107, November 1998

[3] Young Sang Suh und Yin Seong Lee, Highly-Ordered Two-Dimensional Carbon-Nanotubes Areas, *Applied Physics Letters*, Volume 75, Nr. 14, S. 2047-2049, Oktober 1991

[4] T. Dekker, Carbon-Nanotubes as Molecular Quantum Wires, *Physics Today*, S. 22-28, Mai 1999

- [5] W. Han et al, Synthesis of Boron Nitride Nanotubes From Carbon Nanotubes by a substitution Reaction, Applied Physics Letters, Volume 73, Number 21, S. 3085-3087, November 1998
- [6] R. Martel et al, Single- and Multi-Wall Carbon Nanotube Field-Effect Transistors, Applied Physics Letters, Volume 73, Number 17, S. 2447-2449, October 1998
- [7] A. M. Morales und C. M. Lieber, A Laser Ablation Method for the Synthesis of Crystalline Semiconductor Nanowires, SCIENCE, Vol. 279, S. 208-211, in Reports, January 1998
- [8] A. S. Vedencev et al, Molecular-Scale Rectifying Diodes Based on Y-Junction Carbon Nanotubes, Proceedings of the IEDM Conference, Washington, 1999

## Bezugszeichenliste

100	Feldeffekttransistor	
101	Erste Kohlenstoff-Nanoröhre	
102	Source-Bereich	
103	Kanalbereich	5
104	Drain-Bereich	
105	Zweite Kohlenstoff-Nanoröhre	
106	Kontaktbereich	
107	Bor-Nitrid-Nanoröhre	10
108	Vorgegebener Bereich	
109	Bereich metallisch leitende oder halbleitende Kohlenstoff-Nanoröhre	15
110	Wand erste Kohlenstoff-Nanoröhre	
111	Wand erste Kohlenstoff-Nanoröhre	
112	Wand zweite Kohlenstoff-Nanoröhre	
200	Feldeffekttransistor	
201	Erste Kohlenstoff-Nanoröhre	
202	Source-Bereich	
203	Kanalbereich	20
204	Drain-Bereich	
205	Zweite Kohlenstoff-Nanoröhre	
206	Kontaktbereich	
207	Bor-Nitrid-Nanoröhre	25
208	Vorgegebener Bereich	
209	Bereich metallisch leitende oder halbleitende Kohlenstoff-Nanoröhre	
210	Wand erste Kohlenstoff-Nanoröhre	
211	Wand erste Kohlenstoff-Nanoröhre	
212	Wand zweite Kohlenstoff-Nanoröhre	
213	Kontaktstelle	
214	Kontaktstelle	
300	Feldeffekttransistor	
301	Silizium-Nanodraht	
302	Source-Bereich	30
303	Kanalbereich	
304	Drain-Bereich	
305	Bor-Nitrid-Nanoröhre	35
306	Zweite Kohlenstoff-Nanoröhre	
307	Oberer Wand Silizium-Nanodraht	
308	Seitenwand Kohlenstoff-Nanoröhre	
309	Kontaktbereich	
400	Feldeffekttransistor	
401	Erste Kohlenstoff-Nanoröhre	
402	Source-Bereich	40
403	Kanalbereich	
404	Drain-Bereich	
405	Mehrwandige zweite Kohlenstoff-Nanoröhre	
406	Metallisch leitende Kohlenstoff-Nanoröhre	
407	Wand erste Kohlenstoff-Nanoröhre	45
408	Wand mehrwandige Bor-Nitrid-Nanoröhre	
409	Wand zweite Kohlenstoff-Nanoröhre	

## Patentansprüche

1. Feldeffekttransistor, mit einem Nanodraht, der einen Source-Bereich, einen Kanalbereich und einen Drain-Bereich des Feldeffekttransistors bildet, mindestens einer auf dem Nanodraht aufgebrachten Nanoröhre, die einen elektrisch isolierenden Bereich und einen halbleitenden Bereich oder einen metallisch leitenden Bereich aufweist, wobei der isolierende Bereich der Nanoröhre auf dem Kanalbereich des Nanodrahts aufgebracht ist derart, dass der isolierende Bereich der Nanoröhre einen Isolator des Feldeffekttransistors bildet, und dass der halbleitende Bereich oder der metallisch leitende Bereich der Nanoröhre einen Gate-Bereich des Feldeffekttransistors bildet.
2. Feldeffekttransistor, mit einem Nanodraht, der einen Source-Bereich, einen Kanalbereich und einen Drain-Bereich des Feldeffekttransistors bildet, mindestens einer auf dem Nanodraht aufgebrachten elektrisch isolierenden Nanoröhre, die einen Isolator des Feldeffekttransistors bildet, mindestens einer auf der isolierenden Nanoröhre aufgebrachten elektrisch halbleitenden oder metallisch leitenden Nanoröhre, die einen Gate-Bereich des Feldeffekttransistors bildet.
3. Feldeffekttransistor nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Nanodraht ein Silizium-Nanodraht ist.
4. Feldeffekttransistor nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Nanodraht eine weitere Nanoröhre ist.
5. Feldeffekttransistor nach Anspruch 4, bei dem die weitere Nanoröhre eine weitere Kohlenstoff-Nanoröhre ist.
6. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die weitere Kohlenstoff-Nanoröhre mindestens einen halbleitenden Bereich aufweist sowie mindestens einen metallisch leitenden Bereich.
7. Feldeffekttransistor nach Anspruch 6, bei dem der halbleitende Bereich zwischen zwei metallisch leitenden Bereichen angeordnet ist.
8. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem der isolierende Bereich der Nanoröhre eine Bor-Nitrid-Nanoröhre ist.
9. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem der halbleitende Bereich oder der metallisch leitende Bereich der Nanoröhre eine Kohlenstoff-Nanoröhre ist.
10. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 2 bis 7, bei dem die elektrisch isolierende Nanoröhre eine Bor-Nitrid-Nanoröhre ist.
11. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 2 bis 7, bei dem die halbleitende oder metallisch leitende Nanoröhre eine Kohlenstoff-Nanoröhre ist.
12. Feldeffekttransistor nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei dem zumindest eine der Nanoröhren mehrere Wände aufweist.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

